

УДК 630.18

А.С. Евстюгин
(Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург)

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ АНАТОМО- МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕН- НОЙ В РАЗНЫХ ТИПАХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Изучались анатомо-морфологические параметры хвои сосны обыкновенной в культурах в разных типах промышленного загрязнения. Показаны особенности изменения данных параметров в градиенте загрязнения.

Лист, как специализированный орган, основной функцией которого является фотосинтез, осуществляет активный газообмен и в первую очередь реагирует на изменение условий среды. Поэтому изучение листового аппарата растений играет важную роль в экологических исследованиях. Параметры мезоструктуры листа, которые могут включать размеры клеток и хлоропластов, объемы и процентное содержание разных типов тканей и т.д., довольно сильно изменяются в зависимости от тех или иных экологических факторов, в том числе загрязнения воздуха выбросами промышленных предприятий.

Работа выполнена при поддержке гранта №04-04-96118-р2004-Урал.

Исследовалась хвоя сосны обыкновенной 2-го года жизни в культурах, заложенных в двух различных типах загрязнения – щелочном и кислотном. Первый полигон представляет собой экспериментальные культуры, заложенные в 1981–1983 гг. в разных зонах загрязнения в районе комбината «Магnezит» (г. Сатка Челябинской области, южная тайга). Основным компонентом выбросов здесь является магнезитовая пыль. В ее составе преобладают соединения магния (до 80%), обнаружены в ней также серный ангидрид и щелочи (Митюшов, Меншиков, Сизов, 2001). Под влиянием магнезитовой пыли изменяется химический состав почв, среда становится сильно щелочной, происходит накопление магния в верхних горизонтах почвы. У сосны сокращается продолжительность жизни хвои, резко снижаются приросты, у деревьев снижаются процессы метаболизма, что в конечном итоге приводит к ослаблению и гибели насаждений (Меншиков и др., 1987). Образцы хвои отбирались из разных зон магнезитового запыления. 1-й участок находится в зоне сильного загрязнения (в 1,5 км от источника), 2-й – в 3 км (зона среднего загрязнения), 3-й – в 5 км (зона слабого загрязнения) и 4-й (контрольный) – в 14 км (фоновая зона). Изучаемые насаждения значительно различаются по состоянию. Так, на 1-м участке большинство высаженных деревьев погибло, у оставшихся сосен наблюдается значительная дефолиация, срок жизни хвои составляет в среднем 1,5 года. На участках, находящихся в зонах среднего и слабого загрязнения, состоя-

ние культур несколько лучше, хвоя живет около 3 лет. На контрольном участке насаждение здоровое, срок жизни хвои достигает 4,5–5 лет.

Второй полигон находится в районе Ревдинско-Первоуральского промузла (подзона южной тайги). Основными компонентами выбросов здесь являются кислые газы и тяжелые металлы, в частности, сернистый ангидрид, фтористые и азотные соединения, медь, свинец и другие элементы. Первый участок культур (Р1) находится в импактной зоне вблизи источника загрязнений (3–4 км к востоку от Среднеуральского медеплавильного завода), второй (Р2) – на расстоянии 7–8 км к югу в зоне умеренного загрязнения (буферной), и третий (контрольный, Р3) – в фоновой зоне в 20 км от источника. На участке в зоне сильного загрязнения (верхняя часть склона 15°, западная экспозиция) почвы бурые лесные, с укороченным профилем, среднесуглинистые. В результате сильной эрозии горизонт А₁ здесь практически весь смыт. Реакция почв сильнокислая. Деревья здесь характеризуются плохим жизненным состоянием. По санитарному состоянию древостой относятся к категории средне- и сильноослабленных. Наблюдается сильная дефолиация (до 55%) и дехромация хвои (до 38%). Срок жизни хвои сокращается на 1–1,5 года. Древостой сильно изрежен. В ряде случаев деревья принимают кустовидную и стелющуюся формы, а также наблюдается рост приземных ветвей. Насаждения в буферной и фоновой зонах не имеют внешних признаков повреждения.

Наряду с морфологией, изучалась мезоструктура хвои по методике, разработанной А.Т. Мокроносковым (1978). Определение размеров хвои, ее анатомических элементов и клеток производилось с помощью компьютерной программы анализа изображений *Siams Mesoplant*. Площади поверхности клеток вычислялись проекционным методом по двумерным параметрам проекций с использованием стереологических принципов и трехмерных коэффициентов для объектов сложной формы (Иванова, Пьянков, 2001).

Отрезки из средней части хвоинки длиной 1 см (по 40 отрезков с 10 деревьев на каждой пробной площади) отбирались с освещенной стороны из нижней части кроны и фиксировались в 3,5%-ном растворе глутарового альдегида. Размеры клеток мезофилла измерялись в мацерате (5%-ный раствор CrO_3 в 1N HCl). Для подсчета числа клеток образцы мацерировались в 20%-ном водном растворе NaOH.

Изучались следующие группы показателей:

1) размеры хвои (длина, ширина, толщина, площадь, объем), размеры проводящего пучка на поперечном срезе, число и размеры смоляных ходов, площадь и процент мезофилла от площади среза, площадь и количество клеток склеренхимы в проводящем пучке, число клеток в единице объема мезофилла;

2) толщина кутикулы, эпидермиса, гиподермы и эндодермы;

3) параметры клеток мезофилла – площадь поверхности, объем клетки, число хлоропластов в клетке;

4) расчетные показатели – КОХ (клеточный объем хлоропласта, или объем клетки, приходящийся на один хлоропласт); индекс мембран клеток (ИМК, или общая площадь поверхности наружных мембран клеток на единицу объема мезофилла). На единицу объема мезофилла пересчитывалось число клеток.

В градиенте магнезитового запыления достоверно меньшие размеры по сравнению с другими пробными площадями имеет хвоя на 1-м участке в зоне сильного загрязнения (рис. 1, С1–С4). Длина хвои на этой площади отличается особенно резко – 34 мм против 56–57. Ширина и толщина хвои, а также размеры сосудисто-проводящего цилиндра по мере удаления от источника загрязнения изменяются сходным образом, хотя и выражены менее отчетливо. Не выявлено достоверных различий по всем размерным показателям между последними тремя участками. Значимо меньшими размерами отличается только хвоя ближайшего к источнику участка (С1).

Число смоляных ходов изменяется следующим образом. Здесь между первыми тремя участками достоверных различий нет, а в контроле количество ходов существенно ниже. По-видимому, в связи с высокой вариабельностью данного признака на уровне особи нельзя проследить зависимость абсолютного числа смоляных ходов в хвоинке от уровня загрязнения, поэтому целесообразно пересчитывать этот показатель на единицу периметра среза. Здесь тенденция уменьшения числа смоляных ходов по мере удаления от источника выбросов сохраняется (рис. 2, С1–С4). Средняя площадь смоляного хода, напротив, увеличивается к контролю. Распределение площади мезофилла на срезе по участкам практически повторяет распределение других размерных показателей, поэтому процент мезофилла в хвое (как по площади, так и по объему) на разных площадях остается практически неизменным.

Площадь склеренхимы на поперечном срезе рассчитывалась в процентах к площади проводящего пучка, в котором она располагается. Наибольший процент склеренхимы – на 1-м участке, к контролю он несколько снижается, однако разница в большинстве случаев недостоверна. Толщина кутикулы уменьшается только на контрольном участке, между остальными достоверных различий нет. Толщина эпидермиса достоверно выше на первом участке, на остальных трех какой-либо тенденции не выражено. Толщина гиподермы на самом грязном участке практически не отличается от контрольного. Этот показатель достаточно сильно варьирует внутри групп. Толщина эндодермы практически не изменяется на первых трех участках, и лишь в контроле она достоверно меньше. Следует отметить большой размах изменчивости внутри каждой пробы толщины оболочек (кроме кутикулы), особенно на контрольном участке.

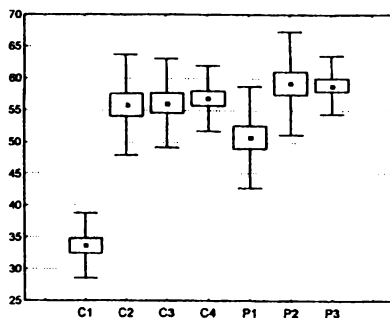


Рис. 1. Длина хвои на пробных площадях, мм

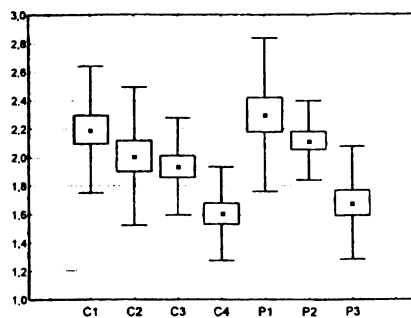


Рис. 2. Количество смоляных ходов на единицу периметра среза

По параметрам клеток можно проследить определенные закономерности. Так, площадь поверхности и объем клетки на первых двух участках, приближенных к источнику загрязнения, достоверно выше, чем на третьем и четвертом. Вместе с тем число клеток в единице объема мезофилла, напротив, возрастает к контролю. Таким образом, в зоне сильного запыления в единице объема мезофилла содержится меньшее количество относительно крупных клеток. Индекс мембран клеток, или общая поверхность мембран клеток в расчете на единицу объема мезофилла, на первых трех участках изменяется слабо и повышается в контроле (рис. 3).

Для характеристики формы клетки использовался фактор изрезанности. Он определяется как отношение периметра круга с диаметром, равным среднему диаметру Фере, к периметру частицы. Этот показатель возрастает по направлению к контролю, т.е. по мере удаления от источника выбросов клетки становятся менее изрезанными.

Число хлоропластов в клетке в зависимости от расположения участка изменяется слабо и не имеет выраженного градиента.

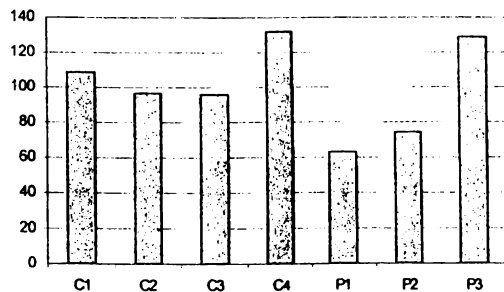


Рис. 3. Индекс мембран клеток хвои на пробных площадях, мм³

Клеточный объем хлоропласта уменьшается к контрольному участку, что свидетельствует о том, что на один хлоропласт в контроле приходится меньший объем клетки.

Распределение длины хвои по пробным площадям в районе загрязнения кислыми газами (Ревдинско-Первоуральский промузел) имеет сходный характер с тем же показателем в районе магнетитового запыления. Однако на самом загрязненном участке хвоя несколько длиннее и отличие от остальных площадей выражено менее резко (см. рис. 1, P1–P3). По толщине и ширине хвоинки и проводящего пучка дерева из импактной и буферной зон не различаются, в фоновой зоне размеры хвои достоверно выше. Соответственно объем и площадь поверхности хвоинки повышаются к контролю, различия во всех случаях достоверны. Средняя площадь смоляного хода на данных площадях хорошо коррелирует с толщиной и шириной хвои и также больше на контрольном участке. Количество смоляных ходов, напротив, понижается по мере удаления от источника загрязнения. В пересчете на единицу периметра среза хвоя сосен контрольного участка имеет значительно меньшее количество смоляных ходов (см. рис. 2, P1–P3). Размеры и количество смоляных каналов как по величинам, так и распределению по градиенту уровня загрязнения в целом близки образцам из Саткинского промузла. Процент мезофилла в хвое на разных площадях достоверно не различается так же, как и в Сатке, однако этот показатель в Ревде существенно ниже (46–47% против 56–57%). Процент склеренхимы в проводящем пучке гораздо выше в зоне сильного загрязнения в отличие от пробных площадей в Сатке, где эти различия более сглажены.

Толщина кутикулы в импактной зоне существенно выше, чем на других участках, однако в целом этот показатель ниже, чем в культурах в зонах магнетитового запыления. По толщине эпидермиса достоверных различий между участками не выявлено. Толщина гиподермы на загрязненном участке не отличается от контроля. Толщина эндодермы несколько больше в фоновой зоне, однако характер распределения этого показателя противоположен его распределению в Сатке.

Площадь поверхности и объем клетки на Ревдинских площадях в зависимости от уровня загрязнения изменяются слабо. В то же время количество клеток в единице объема мезофилла существенно возрастает к контролю, причем более резко, чем на участках в районе магнетитового запыления. Это определяет большие различия индекса мембран клеток между импактной и фоновой зоной в Ревде (см. рис. 3, P1–P3) – примерно в 2 раза. Это означает, что в одном и том же объеме мезофилла на чистом участке значительно больше общая площадь наружных мембран клеток. По факторам компактности и изрезанности клетки каких-либо закономерностей распределения этих индексов между участками не обнаружено. Среднее число хлоропластов в клетке от первого ко второму участку меняется

незначительно, однако на третьем участке (контроль) оно достоверно выше. Вообще на всех пробах в Ревде количество хлоропластов в клетке существенно выше, чем в Сатке, эта разница значительно больше различий между зонами загрязнения в обоих случаях.

Клеточный объем хлоропласта на всех трех участках практически не различается, т.е. на один хлоропласт в данном случае приходится одинаковый объем клетки в отличие от образцов из Сатки, где, кроме снижения этого показателя к контролю, наблюдаются большие его значения.

Таким образом, определяющим показателем загрязнения является длина хвои. Наименьшими размерами отличается хвоя в импактной зоне как в районе магнезитового запыления, так и в районе загрязнения сернистым газом, причем в большей степени уменьшение длины хвои наблюдается на первых площадях. В меньшей степени эти различия выражены для ширины и толщины хвои.

Для хвои сосен в зонах сильного загрязнения в обоих районах исследования характерно наличие большего количества мелких смоляных ходов, а также значительно более толстой кутикулы, что может характеризоваться как проявление ксероморфизма в строении листового аппарата. Об этом же может свидетельствовать и повышение площади и числа клеток склеренхимы в проводящем пучке, в особенности резко увеличивается процент этой ткани в проводящем пучке хвои на Ревдинском участке. Для толщины эпидермиса, гиподермы и эндодермы каких-либо закономерностей не отмечено.

Процент мезофилла в хвое по площади и объему внутри изученных районов является достаточно стабильным показателем, однако по этому показателю они значительно различаются между собой. Так, процент мезофилла по площади от общей площади среза в Сатке составляет 56–57%, тогда как в Ревде он значительно ниже – порядка 46–48%, что, видимо, не связано с фактором загрязнения среды.

Как в Саткинском, так и в Ревдинском промузле в градиенте загрязнения происходит уменьшение поверхности оболочек клеток, что в конечном итоге отражается на фотосинтетической функции хвои. Уменьшение общей площади поверхности и объема клеток происходит прежде всего за счет сокращения их количества в единице объема мезофилла. Размеры фотосинтезирующих клеток в том и другом районах остаются относительно стабильными.

Индекс мембран клеток, выражающий общую поверхность наружных мембран клеток в единице объема мезофилла, в большей степени изменяется в градиенте загрязнения кислыми газами. Количество хлоропластов в клетке, напротив, остается относительно неизменным как в Саткинском, так и в Ревдинском районах.

Библиографический список

Иванова, Л.А. Структурная адаптация мезофилла листа к затенению [Текст]/ Л.А. Иванова, В.И. Пьянков // Физиология растений. 2001. Т. 48. № 6. С. 1 – 14.

Менщиков, С.Л. Особенности химизма почв и анатомо-морфологического строения ассимиляционного аппарата сосны и березы в условиях магнезитового запыления [Текст]/ С.Л. Менщиков [и др.] // Экология. 1987. № 5. С. 84 – 87.

Митюшов, Н.А. К вопросу экологической оценки пылегазовых выбросов при производстве периклазовых огнеупоров [Текст]/ Н.А. Митюшов, С.Л. Менщиков, В.И. Сизов // Огнеупоры на рубеже веков (XX – XXI): сб. науч. тр. Восточн. ин-та огнеупоров. Екатеринбург: Урал. ун-т, 2001. С. 143 – 148.

Мокроносов, А.Т. Методы количественной оценки структуры и функциональной активности фотосинтезирующих тканей и органов [Текст]/ А.Т. Мокроносов, Р.А. Борзенкова// Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Л.: Наука, 1978. Т. 61. С. 119 – 133.

УДК 630. 243

Ю.С. Жданова, С.В. Залесов

(Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург)

ВЛИЯНИЕ ПРОХОДНЫХ РУБОК НА ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ

В результате обследования участков проходных рубок, выполненного 20 лет назад, приводится анализ изменения структуры и массы растений живого напочвенного покрова в зависимости от типа леса и интенсивности изреживания.

Особенности развития, флористический состав и количественные характеристики травяно-кустарничковой растительности существенно влияют на лесовозобновление. Особенно важно выяснить, при какой интенсивности изреживания древостоев в конкретных типах леса обусловленное рубкой изменение травяно-кустарничкового яруса еще не оказывает неблагоприятного влияния на появление всходов и сохранность подроста и как долго проходные рубки в зависимости от интенсивности изреживания оказывают влияние на живой напочвенный покров (Ермолова, 1981).

Нами в процессе исследований предпринята попытка установления влияния проходных рубок различной интенсивности в сосновых древосто-